

海上油气田全生命周期成本控制模型构建与应用

张 猛 孙志伟 魏 巍 范庆磊 王学臣 (海洋石油工程股份有限公司天津智能制造分公司, 天津 300452)

摘要: 为提升海上油气田开发的经济管理精度, 构建贯穿建设、生产与退役阶段的全生命周期成本控制模型。以工程量参数、设备状态、能耗结构及退役作业条件为核心输入, 形成分阶段成本序列并开展敏感性分析。结果显示, 投资端受井深与结构量影响最显著, 运营端受设备利用率与能耗驱动明显, 退役端受水深与天气窗口约束突出。模型能够为方案比选与成本控制策略提供量化依据。

关键词: 海上油气田; 生命周期成本; 成本控制模型

中图分类号: F406.72; TE54

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 035-0010-03

Development of a Full Life Cycle Cost Control Model for Offshore Oil and Gas Fields and Its Application

Zhang Meng, Sun Zhiwei, Wei Wei, Fan Qinglei, Wang Xuechen (Bohai Oilfield Engineering Co., Ltd. Tianjin Intelligent Manufacturing Branch, Tianjin 300452, China)

Abstract: To enhance the economic management precision of offshore oil and gas field development, a full life cycle cost control model spanning construction, production, and decommissioning phases has been established. Using engineering volume parameters, equipment status, energy consumption structure, and decommissioning operation conditions as core inputs, a phased cost sequence was formed and sensitivity analysis conducted. Results indicate that investment costs are most significantly influenced by well depth and structural volume; operational costs are notably driven by equipment utilization and energy consumption; while decommissioning costs are heavily constrained by water depth and weather windows. The model provides quantitative support for scheme comparison and cost control strategy formulation.

Keywords: offshore oil and gas fields; life-cycle cost; cost control model

海上油气田开发周期长、资本强度高、运行环境复杂, 各阶段成本受地质条件、装备性能与海况约束显著, 传统分段式经济测算已难以满足精细化管理需求。在此背景下, 构建贯穿建设、生产与退役全过程的成本控制模型成为提升经济性与决策质量的关键路径。该模型以工程量、设备状态、能耗结构及退役方案为核心变量, 通过参数化处理与阶段化拆解形成量化的成本序列, 为不同技术方案和工况场景下的经济性比较提供统一评价框架, 并为生命周期成本的动态校准与敏感性识别奠定方法基础。

1 海上油气田全生命周期成本结构

海上油气田全生命周期成本在建设、生产运行、退役这三个阶段呈现明显差别, 其规模、波动因素和可控性均由工程属性与海洋环境强烈驱动。建设阶段为成本最高的那个区段, 投入主要是由钻完井、平台搭建与海底管网铺设构成的, 钻完井成本不只受井深、套管结构以及完井工艺制约, 还和地层破碎压力、泥浆体系转换次数以及井控方案的复杂程度密切相关; 深水导管架与半潜式平台的结构吨钢量、节点复杂程度以及水下立管设计方案对成本的扰动极其突出, 受台风季节影响施工窗口, 船机待工以及资源占用成本进一步拉高。生产运行阶段的成本结构变动性大, 由

人工、能耗、维修、化学剂及物流海运这些部分构成, 其中动力系统电耗及注水能耗占比大多超过 40%, 设备可利用率下滑、产量递减加剧以及含水率上升都会抬高单位运行成本; 天气引起的停产不仅产生产量损失, 还会引发设备的冷热冲击效应, 拉高故障率, 引发维护费用在某阶段的攀升。水深与监管要求主导着退役阶段的成本, 单井封堵费用跟着井况复杂情况、套管腐蚀等级以及水泥返高要求而变化; 平台拆除要进行上部模块切割、下部导管架爆破或者水下机械切割作业, 深水作业需配套 ROV 以及 DP 船舶, 引发退役成本呈指数态上升, 海底管线与脐带缆清理路线应结合环境敏感点实施优化, 添补部分不可避免生态修复费用^[1]。

借助对三阶段进行结构化拆分, 可以辨认各类成本的形成过程、敏感驱动因子及可控节点, 使成本体现出可边界界定与可量化的特性, 为搭建生命周期模型、进行参数化成本推演和多场景敏感性分析提供可靠支撑, 为复杂海上开发项目的经济性评判与方案优化奠定量化基础。

2 成本控制指标体系设计

2.1 指标设定原则

指标设计强调体系完整、可量化以及阶段对应特

性,囊括建设、运营以及退役三类成本要素,并保证各阶段参数能有效衔接。全部指标的来源要明确无误,能从工程量、设备状态和能耗记录里直接获取,避免设定的抽象化。重点凸显成本敏感性,对钻完井进尺成本、动力系统能耗、关键设备故障率等影响程度高的参数量化,同时凭借产量递减率、设备可利用率 and 天气停产频次等动态参数增强指标对不同场景的适配性,由此形成一套能用于建模、比选和动态校准的参数体系。

2.2 指标体系结构

指标体系采用目标层、准则层以及指标层的三级结构,以生命周期成本最低为目标。准则层由投资、运营、维护可靠性、能耗效率和退役成本这五类关键维度。投资类规定钻完井单位进尺成本 C_1 、平台每吨钢所需成本 C_2 、海底管线敷设的成本 C_3 ;运营类计有油气处理成本 O_1 、电力强度 O_2 、药剂单耗 O_3 ;维护类选取平均无故障时间 R_1 、计划外停产时长 R_2 ;能耗类列有动力系统能效 E_1 、注水或采油能耗 E_2 类别;退役类包含单井封堵成本 D_1 、平台拆除成本 D_2 ,构成可直接作为模型输入的参数集。

2.3 数据口径说明

数据口径依据“阶段归属与费用实质”设定,保证统计结果一致,建设阶段仅把钻完井、平台建造和海底设施安装所涉及的实际执行费用计入,试运行支出未纳入投资。在运营阶段,把所有能耗、药剂、维修及人工费用按当期产量或处理量归一化处理,把计划性维护与非计划性故障分项记录, R_2 做独立标注,能耗统一按照标准油或标准煤折算。在退役阶段,针对井封堵、管线清理、平台上下部拆除分别归集,防止重复计入^[2]。需记录所有数据的来源、采集时间及校准参数,保证模型输入既具有可追溯性与可比性。

3 成本控制模型构建

3.1 模型思路

模型遵循“阶段拆分—参数化建模—动态耦合—结果校准”的结构化路径,将生命周期划分为建设、生产运行与退役三个子模型,并分别以投资参数 $C_1 \cdots C_3$ 、运营参数 $O_1 \cdots O_3$ 及退役参数 $D_1 \cdots D_2$ 作为静态基础输入。为描述海上工程的强不确定性特征,引入产量递减系数 α 、平台可利用率 β 、极端天气停产频次 γ 等动态变量,使成本函数在时间维度呈现为 $C(t)=f(C_1 \cdots C_3, O_1 \cdots O_3, D_1 \cdots D_2, \alpha, \beta, \gamma)$,从而能够反映生产递减、设备衰退和海况扰动对成本曲线的累积影响^[3]。成本序列经统一折现率 r 处理后形成净现值框架,再通过敏感性系数 S_i 对井深变化、能耗水平及维护强度等关键参数进行偏差测试,识别生命周期成本的弹

性区段及主导驱动项^[4]。该思路使模型可在方案比选、工艺路径调整及多场景模拟中实现可量化、可追踪的结构化输出,具备良好的扩展性与工程适用性。

3.2 参数与假设

参数设定遵从可获取性、工程可操作性及周期一致性的原则,各个参数都运用“基准值+可变动范围”的定义形式,以贴合不同开发方案及外部环境的变动。产量相关参数有初始日产量、年度递减率、稳产周期以及含水率演化系数,用以描述不同开发策略下生产曲线的动态变化态势,并量化其给能耗强度、处理负荷以及人工与维修投入带来的具体影响^[5]。设备与系统参数囊括平台可利用率、关键设备平均无故障时长、非计划停产时间、维修工单响应周期、备件周转周期等要点,让运行可靠性的波动可通过量化映射到运营成本的变动,能耗参数除主动力系统的电力单耗、注水/举升所产生的能耗、气液处理能耗外,还添入了能效衰减系数以及不同能源品类的折标系数,使得长期运行阶段设备退化以及能源结构变化能精确计算^[6]。

建设阶段参数体系进一步引入了像水深分级系数、施工船机日费率、天气窗口限制因子、管线路由复杂度系数等参数,使投资成本可以体现深水构筑物、系统集成难度以及多船机耦合作业的真实成本模式,退役阶段除单井封堵、平台上部和水下结构拆除工作、海底设施清理工作的费用外,还引入了ROV作业强度、切割难度等级及生态敏感区限制等参数,保证估算结果能够覆盖深水退役特有的未知情况^[7]。经济假设使折现率、油气价格区间、人工成本增长率、通胀系数以及税费口径实现一致,且要为各个参数标注来源、适用的有效边界、采集时间以及校准办法,让模型拥有跨年度、跨场景及跨方案的可比属性,给后续敏感性分析与全生命周期多方案抉择提供有力保障。

3.3 成本测算与评价方法

成本的测算与评价采用覆盖建设、运营、退役全时期的统一流程,依次开展工程量细化、参数化量化、作业条件修正和阶段归集操作,形成完整成本序列。投资阶段以专业拆分当作起点,把钻完井、平台建造、海底管线及动力系统安装等作业剖分为可测工程量单元,采集井深、工艺段数目、结构吨钢的具体量、管线长度及水深等级等参数,并与基准单价库实现匹配;针对深水作业、天气窗口以及船机资源可用率引入修正系数,最终把费用归拢为钻完井投资、设施建造投资与安装调试投资^[8]。运营阶段靠生产负荷进行驱动,依照产量、含水率与处理量判定运行强度,而且将平台可利用率与设备利用率作为边界条件,以动力电耗、注水能耗、化学剂单耗、人工及维修等模块为依据形

成单位成本,同时把计划性维护和非计划性故障各自的费用区分开,并依照材料、物流和海运条件进行校正,生成年度化运营成本。退役阶段按照工程拆分的逻辑来做,把单井封堵、平台拆除以及海底设施清理逐一量化,依据井口数量、水深等级以及管线路由的状况设定对应的技术路径,还借助吨钢切割成本、单井封堵成本等参数实施估算;对深水作业、遥操作设备计入附加系数值,最终按照退役年度进行汇总,形成预测的成本流,以折现方式对上述三类成本序列开展统一评价,供方案比选及敏感性分析使用。

4 模型应用案例分析

4.1 项目基础数据

案例选取某海上油气田一期开发方案作为模型输入。项目配置导管架平台和多口生产井,水深约85m,采用采油树与电潜泵举升方式。关键工程量包括钻完井深度110000m、完井段62段、平台结构1.9万t、海底管线24km。建设参数采用基准单价库,钻完井单位进尺9500元/m、平台吨钢1.6万元/t、管线敷设3.2万元/m,并对深水作业采用1.12修正系数。运营参数包括平台可利用率0.92、动力电耗32kWh/桶、注水能耗0.18t标准煤/千桶、药剂11元/桶,维修参数含平均无故障时间6800h和非计划停产42h。退役阶段涉及18口井封堵及平台拆解作业。

4.2 阶段成本测算

建设成本按照钻完井、平台建造以及海底管线路径这几项分别计算,把工程量与单价进行匹配,接着结合水深和施工窗口系数进行修正,得出基准投资。运营成本与生产负荷相关联,以年度为周期测算能耗、人工、维修与材料费用,并利用平台可利用率对单位成本加以校准;故障类费用依据计划性与非计划性分开归集起来,停产损失单独进行核算计入。退役成本根据井封堵、平台拆除及海底设施处理加以量化,还结合深水作业与天气窗口因素作出修正,最终整合成建设期、运营期与退役期的完整成本序列。

4.3 综合评价结果

将建设、运营与退役三个阶段的成本序列按统一折现率进行等价化处理后,可获得项目的全生命周期成本区间。测算结果显示,投资成本占比约62%,运营成本占比约31%,退役成本占比约7%,结构特征与同类海上油田相符。敏感性分析表明,递减率、平台可利用率与动力系统能耗为成本最敏感三类参数,对生命周期成本的影响幅度分别超过 $\pm 12\%$ 、 $\pm 9\%$ 与 $\pm 7\%$ 。在多场景比较中,优化注水能耗结构、提升设备利用率及缩短非计划停产可显著改善成本曲线,使生命周期成本下降幅度达6%—9%。综合评价

表明,模型能够准确揭示各阶段成本驱动因素,为开发方案调整、工艺选择与成本控制策略制定提供可靠的量化依据^[9-10]。

5 结论

全生命周期成本的分阶段模型搭建与参数量化方式,让海上油气田建设、运营及退役的成本结构能系统展现。关键驱动因子及其敏感性的规律得到清晰区分,为开发方案的经济性评断提供了更有精度和可实施性的技术路径。基于这一基础,未来的工作要进一步把实时生产数据与设备状态信息融合为一体,构建可实时动态更新的成本预测体系,并推动模型向数字孪生平台加以延展,以达成对复杂海上作业情境下成本改变的提前认知与全过程调控,给深水油气与高风险海域的开发决策赋予更高精度的成本洞察能力。

参考文献:

- [1] 韩江华.石油工程区块链赋能的全生命周期成本控制智能合约模型构建分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)经济管理,2025(5):105-108.
- [2] 李宏丹.主体结构工程造价中的全生命周期成本控制研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(3):058-061.
- [3] 江跃升.企业成本管理中的全生命周期成本控制方法研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)经济管理,2025(1):041-044.
- [4] 刘畅,毛鹏.基于TCO理论构建数据中心全生命周期成本模型[J].中国管理信息化,2025,28(1):62-65.
- [5] 周煜森,刘虹池.公路工程项目全生命周期中的动态成本控制方法[J].知识经济,2025(3):137-139+202.
- [6] 朱雅格.公路建设项目生命周期成本评估模型构建与应用方法研究[J].工程技术研究,2025,10(13):128-130.
- [7] 马洪营.工程建设项目全生命周期成本优化与价值管理集成模型研究[J].砖瓦,2025(5):136-138.
- [8] 李金生,李金芳,王越.建筑工程中基于BIM技术的全生命周期成本控制研究[J].居业,2025(8):153-155.
- [9] 郭岩,陈俊文,刘飞.基于作业成本法的海上油气田操作成本控制研究[J].油气田地面工程,2021,40(8):6-11.
- [10] 赵帅,刘润,王珂.基于大数据分析的油气田全生命周期成本预测与优化研究[J].系统工程理论与实践,2023,43(5):1450-1464.

作者简介:

张猛(1988-),男,汉族,河北唐山人,大专,助理工程师,研究方向:海洋工程结构。